Gedruckt mit Unterstützung aus dem Jerome und Margaret Stonborough-Fonds

Bericht über Ergebnisse von im mineralogisch-petrographischen Institut in Innsbruck ausgeführten Gefügeanalysen

Von

Bruno Sander

(Vorgelegt in der Sitzung am 5. Mai 1927)

Das bereits bei früherer Gelegenheit publizierte Programm der gefügeanalytischen Arbeiten im mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Innsbruck umfaßte zunächst die optische Analyse aktiv und passiv geregelter, insbesondere aus einem Mineral bestehender Karbonatgefüge. Diese Untersuchungen an verschiedenen, meist alpinen Vorkommen waren auch als notwendige Vorbereitung der mangels eines Röntgenariums derzeit noch nicht durchführbaren röntgenoptischen Gefügeanalyse gedacht und wurden an sicheren Wachstumsgefügen von Dr. Oskar Schmidegg vornehmlich durch 33 Drehtischdiagramme, an passiv geregelten Gefügen von Elfriede Felkel vornehmlich durch 37 Diagramme durchgeführt.

In einem besonderen Fall bezweckte eine sehr ausführliche Gefügeanalyse (E. Felkel, 5 Diagramme) eines makroskopisch ungeregelten Marmors den Nachweis, daß auch derartige Materialien, deren Gefügeanisotropie den bisher üblichen Betrachtungsweisen entgeht, eine der mit dem Drehtisch nachgewiesenen Regelung zuordenbare Anisotropie, in unserem Fall des Festigkeitsverhaltens, zeigen. Der Nachweis dieser die Voraussage in früheren Publikationen bestätigenden, für die Materialprüfung und -verwendung grundsätzlich wichtigen Anisotropie war uns dadurch ermöglicht, daß Herr Dr. F. K. Drescher die Durchführung der Festigkeitsprobe bei verschiedener Einspannung des Marmors im Materialprüfungsinstitut der Hessischen Technischen Hochschule in Darmstadt durchführte. Es ließen sich verschiedenen Druckrichtungen verschiedene Gruppen von Festigkeitsziffern zuordnen.

An erster Stelle beabsichtigten aber die Gefügeanalysen geologisch auswertbare Einblicke in die Entstehung der Gefüge. Derselben Absicht dienten 37 Drehtischdiagramme (Sander), mit welchen die Gefügeanalyse zusammengesetzter Gesteine mit ganz oder teilweise geregelten Komponenten (komplexe Gefüge), namentlich durch Heranziehung von Biotit und Muskowit nach Karbonat und Quarz systematisch fortgesetzt wurde, auch mit Hilfe geregelter interner Reliktstrukturen.

Endlich wurde unter den Zugrissen in Gesteinen ein weit verbreiteter Typus (von Klüften quer zur Faltungs- und Scherungsachse) unterschieden, welcher nicht durch Außenkräfte erzeugt,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

sondern endogener Entstehung und eine Funktion der Regelung ist und hierin wahrscheinlich manchen Aufreißungen gereckter Metalle entspricht. Mit dessen gefügeanalytischer Untersuchung wurde begonnen.

Im folgenden entfallen alle Ergebnisse, welche nur angesichts der Diagramme erörtert werden können.

Aktiv geregelte Karbonatgefüge.

Bei den Untersuchungen an Wachstumsgefügen von Kalzit, Aragonit, Ankerit und Quarz durch Dr. Schmidegg war zunächst die äußere Form der Krystalle im Wachstumsgefüge (Gefügetracht der Krystallite) begrifflich von der Regelung zu scheiden. Die Gefügetracht erwies sich in parallelfaserigen Kalksintern als zuordenbar u. a. der Auslese während des Gefügewachstums auf Grund verschiedener Wachstumsgeschwindigkeiten (Groß, Möller) im Einzelkrystall; z. B. Faserkalzite mit c und solche mit einer Senkrechten zu c in der Längsachse der Krystallite. Die zunehmende Regelung durch Auslese im Wachstumsgefüge wurde durch Drehtischdiagramme übereinanderfolgender Schnitte durch das Gefüge dargestellt (Karlsbader Aragonitsinter, »Großoolith« alpiner Kalke). Richtungssinn und Grad dieser Zunahme der Regelung erwiesen sich als geeignet zur Kennzeichnung solcher Gefüge.

An primären Wachstumsgefügen wurden folgende Typen der Regelung durch Diagramme analysiert:

Kalzit:

1. c Faserachse, $\perp$ Wand (Seefeld, Zürs, primärer Kalzit des Erzbergits, verschiedene Kalksinter).
2. $c \perp$ Faserachse, $\parallel$ Wand (»großoolithische Kalksinter der Trias, Gangfüllungen in Buntsandstein und Silurkalk).

Aragonit:

$c \parallel$ Faserung, $\perp$ Wand; optische Achsenebenen ungeregelt (Karlsbader Sinter, Erzbergit).

Ankerit:

Grundrhomboederkante Faserung, $\perp$ Wand (Ankeritgang in Serpentin von Bologna).

Quarz:

1. c Längsrichtung der Körner, $\perp$ Wand;
2. $c \perp$ $\parallel$ (beide in Gangfüllungen).

Für die Kennzeichnung der untersuchten Wachstumsgefüge konnten ferner folgende Umstände als wichtig, namentlich von Einfluß auf die Homogenität der Gefüge, an eindeutigen Beispielen untersucht werden: Verteilungsdichte der Ansatzstellen für das Wachstum; Form der Anwachsfläche; Raumgitter richtender Einfluß der Unterlage beim Bestehen aus gleicher Mineralart; Verhältnis von Keimbildungs- zu Wachstumsgeschwindigkeit; Strömung des sedimentierenden

©Akademie d ologiezentrum.at

Mediums. Die durch Analysen bestätigte Auslese nach Groß und Möller begünstigt solche Krystalle, bei welchen die größte lineare Wachstumsgeschwindigkeit in das Lot zur Unterlage fällt. Es hängt also in solchen Fällen auch die Regelungsart des Gefüges von denselben Faktoren ab, welche abgesehen vom Feinbau die Verteilung der relativen Wachstumsgeschwindigkeiten im Einzelkrystall beeinflussen und es werden also aus der Regelungsart der Wachstumsgefüge Rückschlüsse auf Temperatur, Konzentration, Lösungsgenossen, Druck, Stömung des sedimentierenden Mediums, Kraftfelder usw. grundsätzlich möglich. So stehen bei der einen Regelungsart Kalzite mit maximaler Geschwindigkeit in *c* mit *c* senkrecht zur Wand, in einer anderen Regelungsart Kalzite mit minimaler Geschwindigkeit in *c* mit *c* parallel zur Wand (siehe oben); zwei Regeln, welche auch das Wachstum der Kalzite in Drusen veranschaulicht. Somit läßt sich auch heteroblastischen Krystalliten im Wachstumsgefüge allein aus der Regelungsart eine Gefügetracht mit engen Beziehungen zu freigebildeten Trachten zuweisen.

Der sogenannte Großoolith der Trias erwies sich im Gefüge als eine fossile Sinterbildung von bisweilen horizontbildender Mächtigkeit, immer eine Hohlraumfüllung ohne Diffusionsvorgänge; deskriptiv durch seine Gefügeregel gut gekennzeichnet z. B. gegenüber ähnlichen Bildungen aus Rhät bei Zürs, gangfüllenden Faserkalken von Seefeld u. a., welche wiederum gegeneinander gefügeanalytisch gut typisierbar sind.

Während die Ableitung der Großoolithe aus primären Aragonitsintern nicht beweisbar ist, fand sich im Erzbergit primäres Kalzitgefüge mit *c* senkrecht zur Wand neben sicherem sekundärem Kalzitgefüge mit *c* parallel zur Wand gleich wie bei den Großoolithen.

Alle Aragonitsinter (Erzbergit, Karlsbad, Ulrichshöhle) sind durch den sehr hohen Genauigkeitsgrad der Regelung gekennzeichnet. An allen Sintern ist die Wachstumsrichtung gefügeanalytisch bestimmbar und gegebenenfalls geologisch zur Bestimmung des vortektonischen »oben und unten« verwertbar.

Die Gefügeanalyse Kalzit und quarzerfüllter Gänge in ungeregeltem Silurkalk und in ungeregeltem Buntsandstein ergab bezüglich Quarz vorwiegend die bekannte Stellung *c* senkrecht zur Wand, außerdem (Silurkalk) ein schwächeres Maximum *c* parallel zur Wand. An den gangfüllenden Kalziten ist das Maximum *c* parallel zur Wand (senkrecht zur längeren Kornachse), sowie ein zweites Maximum *c* senkrecht zur Wand daneben sehr deutlich. Im Beispiele Buntsandstein zeigen die stärker oblongen Kalzitkörner im Gefüge außerhalb des Ganges dieselbe Gefügetracht wie im Gange (*c* senkrecht zum längeren Korndurchmesser). Es unterstanden also auch Körner außerhalb des Ganges demselben Einfluß auf die Gefügetracht wie die Körner in der Gangfüllung.

Mit diesen Studien war nicht nur eine Grundlage für gefügeanalytische Kenntnis der geologischen Hohlraumausfüllungen, Drusen, Gänge beabsichtigt, sondern es liegt eine ganz allgemeine geologische (sedimentpetrographische) Bedeutung des exakten Studiums der von

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

einer Unterlage aus weiterwachsenden Krystallitgefüge auch darin, daß dieser Vorgang mit manchen Vorgängen der chemischen Sedimentation überhaupt in seinen Grundlagen zusammenfällt.

Passiv geregelte Karbonatgefüge.

In deutlichen Gegensatz zu den von Dr. Schmidegg behandelten aktiv geregelten Karbonatgefügen treten die von E. Felkel untersuchten passiv geregelten reinen Karbonatgefüge schon durch folgende deskriptive Daten:

I. Bei der Bezeichnung $z =$ Lot auf s; $x =$ Durchbewegungsrichtung in s; $y =$ Lot auf Ebene (xz) zeigten Diagramme scharf geregelter Marmortektonite mit einer Scherflächenschar:

1. Ein Maximum der Pole von $-\frac{R}{2}$ im Pole von s; von Becke angenommen Fortschritte 1924.
2. Ein Achsenmaximum in Ebene (xz) im Abstand von zirka 26° vom Maximum 1 verschoben, und zwar vorbehaltlich weiterer Prüfung, auf der Lagenkugel in demselben Sinne, in welchem die Vorschiebung der höheren s über die tieferen erfolgte;
3. Maxima der Gleitrichtungen der Einzelkörner (= kurze Diagonale von $-\frac{R}{2}$), symmetrisch in Ebene (xy), beiderseits von x mit wechselndem Winkel in verschiedenen Gesteinen. Die Symmetrale zwischen den Maxima der Korngleitrichtungen liegt also in x.

1 und 2 wird durch voneinander unabhängige Einmessungen erhalten, 3 ergibt sich konstruktiv aus 1 und 2.

Ausgezeichnete Beispiele: Griesscharte am Hochfeiler, Vennatal am Brenner.

Als Deformationsmechanismus des Kalzits als Gefügekorn unter den Deformationsbedingungen der untersuchten alpinen Marmore ergibt sich also die Einregelung von $-\frac{R}{2}$ als Translationsfläche, die Einregelung von dessen kürzerer Diagonale als Translationsrichtung, vermutlich mit dem Richtungssinn gegen die c-Achse.

I*a*. Denken wir uns das Diagramm der Regel I um y rotiert, was einem mehrfachen Auftreten von Scherflächen im Sinne von Schmidt's Erklärung der »Streckungs«riefung tautozonal um die gemeinsame Scherungsachse y entspricht, so erhalten wir (an Stelle von 1 und 2) Gürtel in (xz) mit insularen Maxima. Beispiel: Sunkmarmor.

II. Körner mit den Merkmalen der Rekrystallisation (glattkonturierte Mosaiken ohne mechanische Störung der Optik und ohne korrespondierende Grenzen gegen mechanisch deformierte Körner zwischen denselben und lagenweise s zwischen gröberkörnigen Lagen

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

mechanisch deformierter Körner) zeigen eine von der Regel I der mechanisch deformierten Körner im gleichen Schliff unterscheidbare Regel II. Bei dieser tritt unter anderem ein Achsenmaximum in *s* auf, welch letzteres durch lagenweisen Wechsel in der Korngröße und Kornform sowie durch die Regel I bestimmt ist. Dieses Maximum der Regel II in *s* lag in drei Fällen nachweislich in der Durchbewegungsrichtung, womit nicht gesagt ist, daß es unmittelbar durch mechanische Korneinregelung zustande kam. Beispiele: Vennatal, Weißespitz, Tarntaler Trias.

Dieselbe Regel der Achsenlagen wie bei Kalzit wurde auch an Dolomittektonit festgestellt. Beispiel: Dolomit, Pfelders (»Schneeberger Zug«).

Bisweilen ergaben sich Anzeichen, daß gegenüber den makroskopischen Merkmalen (*s*, Riefung, Stengelung), die zur ersten Orientierung der Koordinaten *x y z* führten, ganz analoge Abweichungen des Diagramms zu finden sind, wie bei »heteroachs« geregelten Falten: die makroskopischen Merkmale der Außenform sind in solchen Fällen nicht dem Diagramm zuordenbar.

Es wurde ferner eine Typisierung des Intergranularnetzes sowie der Gefügetracht vorgenommen und den Regelungstypen I und I*a* zugeordnet: rhombischer Symmetrietypus des in *s* flachmaschigen Intergranularnetzes, dessen Achsen mit *x y z* zusammenfallen (ad I); wirteliger Symmetrietypus mit Achse quer zu der in (*xz*) wechselnden Durchbewegungsrichtung (ad I*a*).

Für alle nach I und namentlich nach I*a* geregelten Kalktektonite war die Gefügetracht des Kalzits Verlängerung quer zu *c*, und zwar ein Korn mit rhombischer (I) bis wirteliger (I*a*) Symmetrie des Umrisses mit längster Achse quer zu *c* (parallel *y* des Gefüges).

Schließlich ließen sich die Gefüge nach den direkten, nicht aus den Diagrammen erschlossenen Anzeichen mechanischer Durchbewegung typisieren, nach der intergranularen und intragranularen Teilbewegung und nach der Stufung der Intergranularen durch die Korntranslation. Für alle angeführten Fälle wurden mehrfache Beispiele krystallinen Kalken der Ostalpen entnommen.

Komplexe Gefüge. Glimmerregelung. Internregelung.

Die systematische Untersuchung der genetisch ganz verschiedenen Fälle, in welchen von einem einheitlichen Krystall ringsum umschlossene Minerale eine Regelung (»Internregelung«) zeigen, wurde an einem Albitamphibolit des Greiner begonnen, dessen große Hornblendeholoblasten unverlegtes *si* aus Karbonat (Ankerit?), Quarz und Epidot enthalten.

Die ganz verschiedene Lage der ebenfalls eingemessenen Hornblenden ist ohne Einfluß auf die Regelung von *si* (Quarz, Karbonat).

Die scharfe voramphibolitische passive Regelung von Quarz und Karbonat überdauerte unverwischt die Amphibolbildung, welche von lebhaften chemischen Angriffen auf Quarz, Karbonat und Epidot (Korrosionsformen aller Art in *si*) begleitet war.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Die Amphibolbildung ist ein reiner, die Gefügebildung abschließender Krystallisationsakt, der sich zeitlich gut heraushebt. Weder während desselben, noch nach demselben fand Durchbewegung des Gefüges statt (Regel *si* = Regel *se*, *si* und *se* gleichgeregelt, »homotrop«; unversehrte Hornblenden; unverlegtes *si* fast ohne Streuung, wenn man, wie es auch in anderen Fällen durchgeführt wurde, *si* selbst als Fläche in den verschiedenen Körnern einmißt).

Eine wahrnehmbare Einstellung der Hornblendeholoblasten mit *c* subparallel *s* erfolgte ohne Durchbewegung des Gefüges.

Schon vor der Amphibolbildung bestand das ausgezeichnete Bild einer »Krystallisationsschieferung«: Längung der Körner (Albit, Quarz, Karbonat) in *se* und *si*. Gefügetracht der Hornblende hingegen: starkes Wachstum quer zu *c* und damit auch quer zu *s*.

Die Regel des *si*, Quarz in Hornblende, deckt sich mit *se* bis auf ein starkes insulares Maximum im Gürtel von *se*. Dieses Maximum ist noch mehr im *si* des Quarzes innerhalb der Albitholoblasten betont; *si* in Albit ist überhaupt anders geregelt (heterotrop) zu *si* von Quarz in Hornblende und zu *se* des Quarzes: Ältere Züge der Quarzregelung wurden im Albit reliktisch aufbewahrt.

Die Regelungen von Quarz und Karbonat in diesem Gestein decken sich in ihrer Symmetrie (monotaktisches, komplexes Gefüge) und sind also auf einen einheitlichen Deformationsakt des Gefüges beziehbar.

Die passive Regelung ist während der Albitisation (parakrystallin) und vor der Amphibolitisierung des Gesteines erfolgt, dessen tektonische Durchbewegung von der Krystallisation aller Komponenten überdauert wurde, also vollkommen vorkrystallin ist.

Neben diesem charakteristischen Typus eines krystallisationsschiefrigen Gesteines der Tauern wurde ein typischer, umgefalteter und stengeliger Phyllonit (Quarz, Glimmer, Feldspat, Karbonat) analysiert, dessen Umfältelungs- und Scherungsachse B senkrecht auf der Durchbewegungsrichtung steht. In einem geeignet groß gewählten Bereich ergab sich für »Quarz in Muskowit«gefüge ein ziemlich gleichmäßig besetzter Gürtel senkrecht auf B, also die schon seit 1912 bekannte für »gestreckte« Gesteine bezeichnende Unterisotropie im Gefügeschnitt senkrecht zu B, ferner ein kleines Maximum in B (kennzeichnend für »Quarz in Kalzit«gefüge, 1926).

Einen gleichen Gürtel mit einem insularen Hauptmaximum (der Hauptscherfläche zugeordnet) und kleineren insularen Maxima besetzte (001) der Muskowite. Die Durchbewegungsrichtung von Gesteinen mit eingeregelten Muskowiten ist in Flächenschliffen mit 001 auch ohne U-Tisch mit dem Kompensator bestimmbar. Die Größe der Streuung von γ in s kennzeichnete die verschiedenen hiefür untersuchten Gesteine.

Mechanisch in ein Scherungs-*s* eingeregelte Glimmer lassen auch den Richtungssinn der tektonischen Bewegung ablesen. Wir stellen *s* horizontal, die Riefung quer, den Gürtel der Glimmerpole

©Akademie der Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

also sagittal: Die Schnittgerade zwischen Gürtel und *s* ist die Durchbewegungsrichtung. Die Glimmerplättchen fallen maximal derart ein, als ob sie gleich Halmen von der darüber streichenden Strömung unvollkommen umgelegt wären. Diese Beobachtung ist zuweilen schon makroskopisch möglich. Bei richtiger Orientierung liegt also im üblichen Diagramm des Flächenschliffes das insulare Hauptmaximum des Gürtels der Glimmerpole aus dem Diagrammzentrum nach derjenigen Richtung verschoben, nach welcher sich im Gestein die höheren *s* im Vergleich zu den tieferen verschoben haben. Diese Glimmerregeln wurden in komplexen monotaktischen Gefügen kontrolliert, traten aber auch in Gefügen auf, in welchen die Anordnung der Quarze noch nicht tektonisch deutbar war (Nordostschub in den Raibler Schichten des Tribulauns). Neben gleichphasig rotierten »Querbiotiten« können infolge ungünstiger Ausgangsstellung nicht eingeregelte Biotite eine von der selektiven Deformation lediglich verschonte und nur wegen ihrer ähnlichen Ausgangstellung scheinbar geregelte Schar von Querbiotiten bilden, mit einer Regel, deren Erklärung weder als aktive, noch als passive Regelung möglich ist (»Restregel«). Es ist dieses Prinzip bei jeder Regelung mit selektiver Korndeformation ins Auge zu fassen und wurde durch Teildiagramme für die Biotite verschiedenen Deformationszustandes ebenfalls am Beispiele der krystallinen Raibler Schichten des Tribulauns klargelegt.

Schließlich wurde selbst an finnischen Gneisen mit wohlerhaltener Kreuzschichtung (Someronuoret) durch die *U*-Tisch-Analyse ein deutlicher Biotitgürtel mit sehr deutlicher Clivage schief zum sedimentären *s* und selbst ein Quarzgürtel nachgewiesen. Es bedarf also für das Zustandekommen dieser Phänomene keiner die Kreuzschichtung verwischenden Bewegungsausmaße im Gefüge. Es handelt sich hier nicht, wie ich 1914 glaubte, um reine Abbildungskrystallisation sedimentären Gefüges. Und es ist selbst in solchen Gesteinen die petrotektonische Analyse mit dem *U*-Tisch möglich.